

SISTEM PAKAR MENGUNAKAN MESIN INFERENSI FUZZY

Wilis Kaswidjanti

Abstrak

Salah satu cara untuk menangani ketidakpastian pada bidang sistem pakar dapat digunakan logika fuzzy, yang juga merupakan salah satu bidang kecerdasan buatan. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat dan didasarkan pada bahasa alami. Dengan menggunakan mesin inferensi fuzzy, dapat dibuat aturan-aturan if-then fuzzy untuk menurunkan pernyataan yang bersifat linguistik. Metode defuzzifikasi yang digunakan berbagai metode seperti max-min dan center average.

Kata kunci : *Sistem Pakar, Mesin Inferensi Fuzzy, Metode Defuzzifikasi.*

PENDAHULUAN

Suatu permasalahan dapat dimodelkan secara lengkap dan konsisten. Tapi, pada kenyataannya banyak masalah di dunia ini yang tidak dapat dimodelkan secara lengkap dan konsisten. Salah satu bidang kecerdasan buatan, yaitu sistem pakar, juga mengalami hal tersebut. Sistem Pakar merupakan alat bantu yang berperan sebagai seorang pakar dalam bidang keahlian tertentu. Pada dasarnya sistem pakar terdiri atas 2 bagian utama, yaitu bagian input basis pengetahuan, dan bagian konsultasi. Namun ketika user berkonsultasi, tidak seratus persen apa yang disarankan oleh sistem pakar itu benar, dikarenakan mengandung ketidakpastian pada data dan pengetahuan yang ada. Logika fuzzy, yang juga salah satu bidang dalam kecerdasan buatan, dapat menangani ketidakpastian tersebut.

2. SISTEM PAKAR

2.1 Konsep Dasar Sistem Pakar

Konsep dasar sistem pakar mengandung keahlian (*expertise*), pakar (*expert*), pengalihan keahlian (*transferring expertise*), inferensi (*inferencing*), aturan (*rules*) dan kemampuan menjelaskan (*explanation capability*) [5]. Keahlian (*expertise*) adalah suatu kelebihan penguasaan pengetahuan di bidang tertentu yang diperoleh dari pelatihan, membaca atau pengalaman. Pengetahuan tersebut memungkinkan para ahli untuk dapat mengambil keputusan lebih cepat dan lebih baik daripada seseorang yang bukan ahli. Pakar (*Expert*) adalah seseorang yang mampu menjelaskan suatu tanggapan, mempelajari hal-hal baru seputar topik permasalahan (*domain*), menyusun kembali pengetahuan jika dipandang perlu, memecah

aturan-aturan jika dibutuhkan, dan menentukan relevan tidaknya keahlian mereka. Pengalihan keahlian (*transferring expertise*) dari para ahli ke komputer untuk kemudian dialihkan lagi ke orang lain yang bukan ahli, hal inilah yang merupakan tujuan utama dari sistem pakar. Proses ini membutuhkan 4 aktivitas yaitu :

1. Tambahan pengetahuan (dari para ahli atau sumber-sumber lainnya)
2. Representasi pengetahuan (ke komputer)
3. Inferensi pengetahuan
4. dan pengalihan pengetahuan ke user.

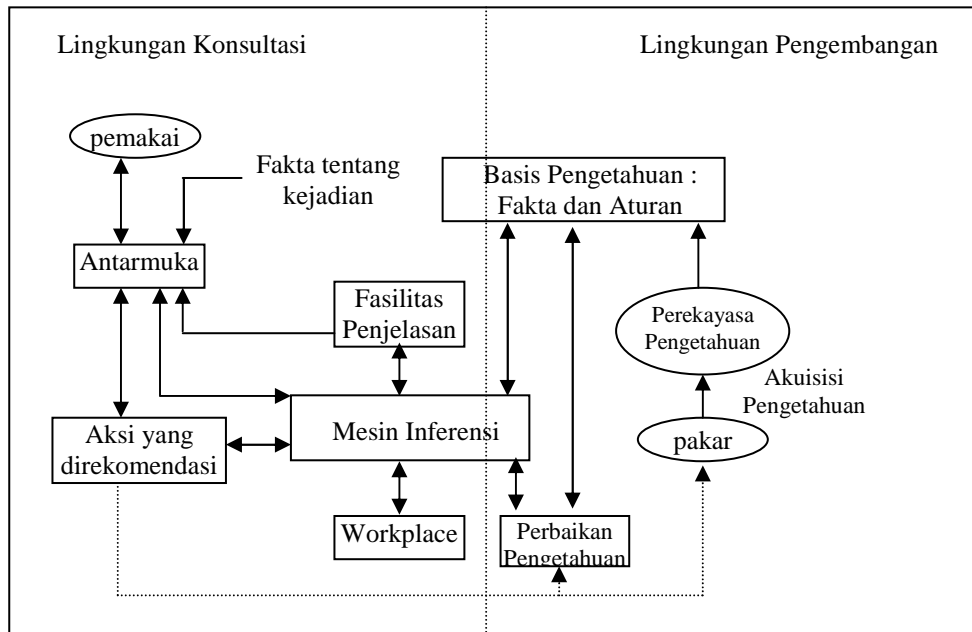
Pengetahuan yang disimpan di komputer disebut dengan nama basis pengetahuan. Ada dua tipe pengetahuan, yaitu fakta dan prosedur (biasanya berupa aturan).

Salah satu fitur yang harus dimiliki oleh sistem pakar adalah kemampuan untuk menalar. Jika keahlian-keahlian sudah tersimpan sebagai basis pengetahuan dan sudah tersedia program yang mampu mengakses basis data, maka komputer harus dapat diprogram untuk membuat inferensi. Proses inferensi ini dikemas dalam bentuk mesin inferensi (*inference engine*).

Sebagian besar sistem pakar komersial dibuat dalam bentuk *rule based systems*, yang mana pengetahuan disimpan dalam bentuk aturan-aturan. Aturan tersebut biasanya berbentuk IF-THEN.

Fitur lainnya dari sistem pakar adalah kemampuan untuk memberikan nasehat atau merekomendasi. Kemampuan inilah yang membedakan sistem pakar dengan sistem konvensional.

2.2 Struktur Sistem Pakar



Gambar 1. Arsitektur Sistem Pakar [5].

Sistem pakar terdiri dari dua bagian pokok [5], yaitu : lingkungan pengembangan (*development environment*) dan lingkungan konsultasi (*consultation environment*). Lingkungan pengembangan digunakan sebagai pembangun sistem pakar baik dari segi pembangun komponen maupun basis pengetahuan. Lingkungan konsultasi digunakan oleh seseorang yang bukan ahli untuk berkonsultasi. Komponen-komponen yang ada pada sistem pakar sebagai berikut (Gambar 1) :

1. Subsistem penambahan pengetahuan (Akuisisi Pengetahuan).

Akuisisi pengetahuan adalah akumulasi, transfer dan transformasi keahlian dalam menyelesaikan masalah dari sumber pengetahuan ke dalam program komputer. Pengetahuan diperoleh dari pakar, dilengkapi dengan buku, basis data, laporan penelitian dan pengalaman pemakai.

2. Basis pengetahuan (*Knowledge Base*)

Basis pengetahuan merupakan bagian yang sangat penting dalam proses inferensi, yang di dalamnya menyimpan informasi dan aturan-aturan penyelesaian suatu pokok bahasan masalah beserta atributnya. Pada prinsipnya, basis pengetahuan mempunyai dua (2) komponen yaitu fakta-fakta dan aturan-aturan.

3. Mesin Inferensi (*Inference Engine*).

Program yang berisi metodologi yang digunakan untuk melakukan penalaran terhadap informasi-informasi dalam basis pengetahuan dan blackboard, serta digunakan untuk memformulasikan konklusi.

4. *Workplace / Blackboard*

Merupakan area dari sekumpulan memori kerja (*working memory*). *Workplace* digunakan untuk merekam kejadian yang sedang berlangsung termasuk keputusan sementara.

5. Antarmuka (*user interface*)

Digunakan untuk media komunikasi antara user dan program.

6. Subsistem penjelasan (*Explanation Facility*)

Explanation Facility memungkinkan pengguna untuk mendapatkan penjelasan dari hasil konsultasi. Fasilitas penjelasan diberikan untuk menjelaskan bagaimana proses penarikan kesimpulan. Biasanya dengan cara memperlihatkan rule yang digunakan.

7. Perbaikan Pengetahuan (*Knowledge Refinement*)

Sistem ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem pakar itu sendiri untuk melihat apakah pengetahuan-pengetahuan yang ada masih cocok untuk digunakan di masa mendatang.

2.3 Basis Pengetahuan (*Knowledge base*)

Basis pengetahuan mengandung pengetahuan untuk pemahaman, formulasi, dan penyelesaian masalah. Komponen sistem pakar ini disusun atas dua elemen dasar yaitu fakta dan aturan. Fakta merupakan informasi tentang obyek dalam area permasalahan tertentu, sedangkan aturan merupakan informasi tentang cara bagaimana memperoleh fakta baru dari fakta yang telah diketahui.

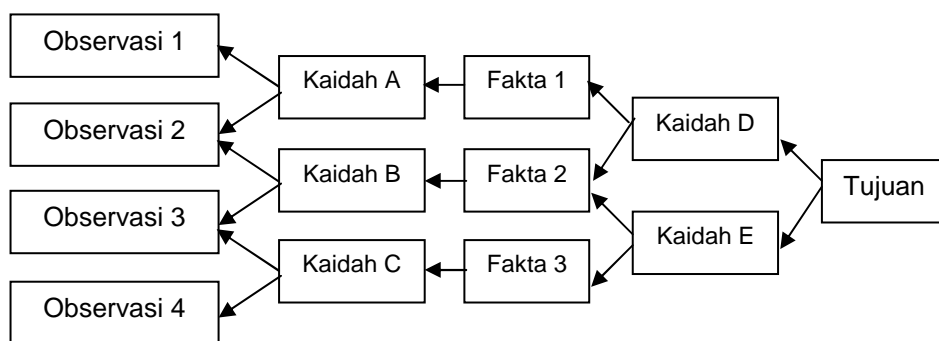
2.4 Mesin Inferensi (*Inference Engine*)

Komponen ini mengandung mekanisme pola pikir dan penalaran yang digunakan oleh pakar dalam menyelesaikan suatu masalah. Mesin inferensi adalah program komputer yang memberikan metodologi untuk penalaran tentang informasi yang ada dalam basis pengetahuan dan dalam *workplace*, dan untuk memformulasikan kesimpulan [5]. Secara deduktif mesin inferensi memilih pengetahuan yang relevan dalam rangka mencapai kesimpulan. Dengan demikian sistem ini dapat menjawab pertanyaan pemakai meskipun jawaban tersebut tidak tersimpulkan secara eksplisit di dalam basis pengetahuan. Mesin inferensi memulai pelacakannya dengan mencocokkan kaidah-kaidah dalam basis

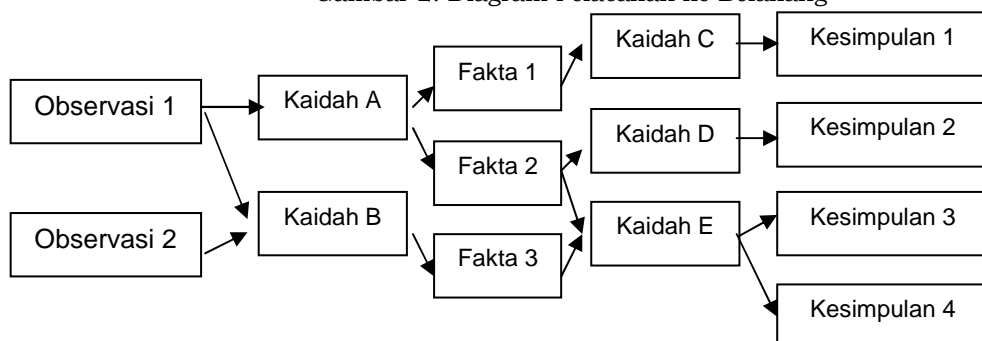
pengetahuan dengan fakta-fakta yang ada dalam basis data.

Karena pengetahuan dalam sistem berbasis pengetahuan diperoleh dari sumber kepakaran termasuk didalamnya pakar (*human expert*), dan banyak pengetahuan pakar yang samar (tidak jelas), maka fakta dan aturan dalam basis pengetahuan mengandung informasi yang tidak jelas [4]. Dalam kasus demikian, proposisi yang digunakan untuk menyusun aturan-aturan dalam basis pengetahuan dinyatakan sebagai proposisi fuzzy dan proses inferensi dilakukan dengan menggunakan logika fuzzy. Proses ini dinamakan inferensi fuzzy.

Terdapat dua pendekatan untuk mengontrol inferensi dalam sistem pakar, yaitu pelacakan ke belakang (*Backward Chaining*) yang memulai penalarannya dari sekumpulan hipotesa menuju fakta yang mendukung hipotesa-hipotesa tersebut (gambar 2), dan pelacakan ke depan (*Forward Chaining*) yang merupakan kebalikan dari pelacakan ke belakang, yaitu memulai dari sekumpulan fakta menuju kesimpulan (gambar 3).



Gambar 2. Diagram Pelacakan ke Belakang



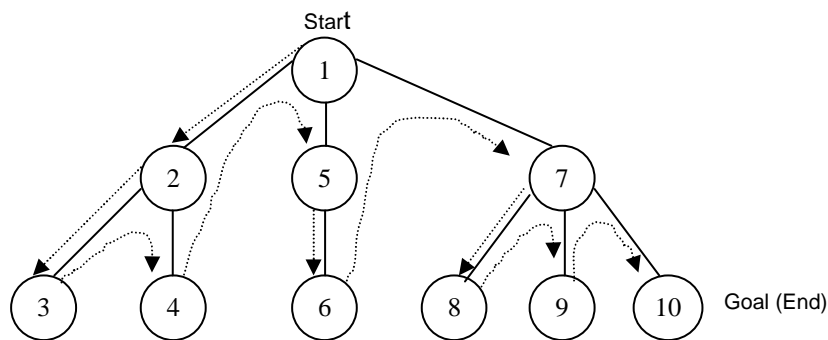
Gambar 3. Diagram Pelacakan ke depan

Kedua metode inferensi tersebut dipengaruhi oleh dua macam penelusuran, yaitu *Depth-first search* dan *Breadth-first search*.

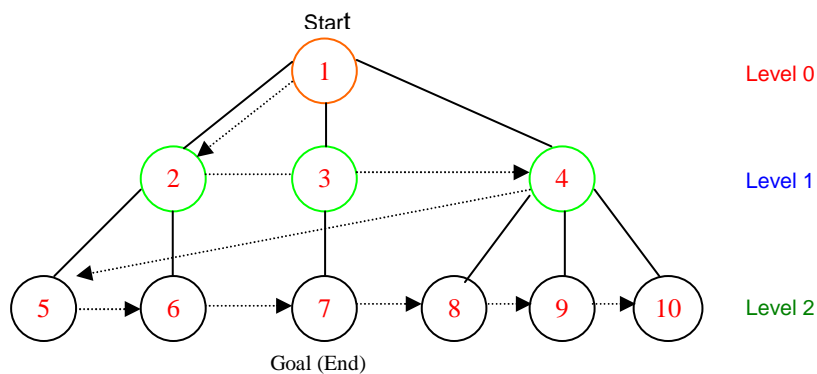
a. *Depth-first search*, melakukan penelusuran kaidah secara mendalam dari simpul akar

bergerak menurun ke tingkat dalam yang berurutan (gambar 4).

b. *Breadth-first search*, bergerak dari simpul akar, simpul yang ada pada setiap tingkat diuji sebelum pindah ke tingkat selanjutnya (gambar 5).



Gambar 4. Diagram Alir Teknik Penelusuran *Depth First Search*



Gambar 5. Diagram Alir Teknik Penelusuran *Breadth First Search*

Dalam memilih apakah akan menggunakan pelacakan ke depan atau pelacakan ke belakang, semuanya bergantung masalah yang akan dibuat sistem pakarnya, dan belum dapat dibuktikan mana yang lebih baik di antara kedua metode inferensi ini. Untuk sebuah sistem pakar yang besar, dengan jumlah rule yang relatif banyak, metode pelacakan ke depan akan dirasakan sangat lamban dalam pengambilan kesimpulan, sehingga untuk sistem-sistem yang besar digunakan metode pelacakan ke belakang.

1.5 Representasi Pengetahuan

Dalam pembangunan sistem pakar, pengetahuan yang telah diekstrak direpresentasikan ke dalam bentuk yang dapat diproses oleh komputer. Terdapat empat teknik

yang telah dibuktikan efektif untuk representasi pengetahuan, yaitu jaringan semantik, bingkai (*Frame*) dan naskah (*script*), serta aturan produksi [1]. Aturan produksi merupakan aturan (*rules*) yang merupakan kalimat kondisional, untuk merepresentasikan *rules of thumb*. Metode aturan produksi biasanya dituliskan dalam bentuk jika-maka (*if-then*). Aturan ini dapat dikatakan sebagai hubungan implikasi dua bagian, yaitu bagian premis (jika) dan bagian konklusi (maka), seperti berikut ini :

Jika (premis/kondisi) Fakta1,
Fakta2, ...

Maka (konklusi) Fakta9, Fakta10,
...

Apabila bagian premis dipenuhi maka bagian konklusi akan bernilai benar. Sebuah aturan

terdiri dari klausa-klausa. Sebuah klausa mirip dengan sebuah kalimat dengan subyek, kata kerja dan obyek yang menyatakan suatu fakta. Suatu aturan juga dapat terdiri dari beberapa premis dan lebih dari satu konklusi. Untuk merumuskan beberapa domain pengetahuan secara akurat diperlukan banyak aturan produksi. Aturan-aturan ini menyediakan rincian obyek, karakteristik, dan tindakan-tindakan yang harus diambil. Untuk dapat meliputi suatu obyek diperlukan banyak rincian aturan. Aturan-aturan ini biasanya saling berkaitan dan saling mengacu. Aturan ini membentuk pangkalan pengetahuan yang kemudian menjadi bagian sistem produksi.

Biasanya pengetahuan diturunkan dalam bentuk pernyataan linguistik dari pakar [4], contoh :

bercak pada daun is sangat banyak

ujung daun kering is banyak

Dalam contoh pertama variabel linguistik “bercak pada daun” memiliki nilai linguistik “sangat banyak”, sedangkan pada contoh kedua, variabel linguistik “ujung daun kering” memiliki nilai linguistik “banyak”. Bagian premis dalam aturan produksi dapat memiliki lebih dari satu proposisi. Proposisi-proposisi tersebut dihubungkan dengan menggunakan operator logika AND atau OR, sebagai contoh :

bercak pada daun is sangat banyak **AND** ujung daun kering is banyak

Aturan produksi digunakan untuk menyatakan hubungan antara dua bentuk pernyataan linguistik yang masing-masing merupakan bagian premis dan konklusi/kesimpulan, sebagai contoh :

IF bercak pada daun is sangat banyak **AND** ujung daun kering is banyak

THEN penyakit bercak ungu is puso

3. INFERENSI FUZZY

Konsep logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh professor Lotfi A. Zadeh dari Universitas California, pada bulan Juni 1965. Logika fuzzy merupakan generalisasi dari logika klasik yang hanya memiliki dua nilai keanggotaan yaitu 0 dan 1. Dalam logika fuzzy, nilai kebenaran suatu pernyataan berkisar dari sepenuhnya benar sampai dengan sepenuhnya salah. Dengan teori himpunan fuzzy, suatu objek dapat menjadi anggota dari banyak himpunan dengan derajat keanggotaan yang berbeda dalam masing-masing himpunan. Konsep ini berbeda dengan teori himpunan biner (crisp). Teori himpunan biner tergantung pada logika dua-nilai

(two-valued logic) untuk menentukan apakah sebuah objek merupakan suatu anggota himpunan atau bukan [3]. Berikut adalah konsep-konsep dalam logika fuzzy.

3.1 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah kurva yang mendefinisikan bagaimana masing-masing titik dalam ruang input dipetakan ke dalam nilai keanggotaan (derajat keanggotaan) antara 0 dan 1. Fungsi keanggotaan μ memetakan elemen x dari himpunan semesta X ke sebuah bilangan $\mu(x)$, yang menentukan derajat keanggotaan dari elemen dalam himpunan fuzzy A .

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X\}$$

Berdasarkan Klir & Bo (1995), kisaran nilai fungsi keanggotaan yang paling umum digunakan adalah interval $[0,1]$. Dalam kasus ini, masing-masing fungsi keanggotaan memetakan elemen-elemen dari himpunan semesta X yang diberikan, yang selalu merupakan suatu himpunan crisp, ke dalam bilangan nyata dalam interval $[0,1]$.

3.2 Operasi Dasar dalam Himpunan Fuzzy

Terdapat 3 operasi dasar dalam himpunan fuzzy yaitu komplemen (*complement*), irisan (*intersection*), dan gabungan (*union*) [6]. Fungsi keanggotaan himpunan fuzzy baru yang dihasilkan dari operasi-operasi tersebut diberikan dalam tabel 1,

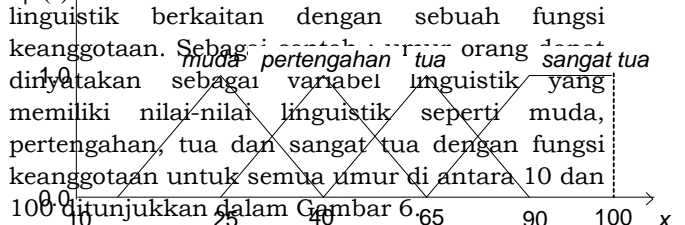
Tabel 1. Operasi-operasi dasar dalam himpunan fuzzy

Operasi	Fuzzy keanggotaan
Complement	$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x)$
Intersection	$\mu_{(A \cap B)}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)]$
Union	$\mu_{(A \cup B)}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)]$

Dimana A dan B adalah himpunan fuzzy, $x \in X$.

3.3 Variabel Linguistik

Suatu variabel linguistik adalah sebuah variabel yang memiliki nilai berupa kata-kata dalam bahasa alamiah [6]. Setiap variabel linguistik berkaitan dengan sebuah fungsi keanggotaan. Sebagai contoh, orang dapat



Gambar 6. Contoh Fungsi Keanggotaan
Definisi formal dari variabel linguistik diberikan sebagai berikut [6] :

Sebuah variabel linguistik ditentukan oleh (X, T, U, M) , dengan

- X adalah nama dari variabel linguistik,
- T adalah himpunan nilai-nilai linguistik yang dapat diambil oleh X,
- U adalah domain fisik aktual dimana variabel linguistik X mengambil nilai-nilai kuantitatifnya (crisp),
- M adalah suatu aturan semantik yang menghubungkan masing-masing nilai linguistik dalam T dengan suatu himpunan fuzzy dalam U.

Dari contoh di atas diperoleh :

- X adalah umur orang,
- $T = \{\text{muda, pertengahan, tua, sangat tua}\}$,
- $U = [0, 100]$,
- M menghubungkan “muda”, “pertengahan”, “tua”, “sangat tua” dengan fungsi keanggotaan seperti dalam gambar 6.

3.4 Aturan IF-THEN Fuzzy

Logika fuzzy menggunakan himpunan fuzzy dalam merepresentasikan dan memanipulasi informasi yang samar (tidak jelas) untuk keperluan penarikan kesimpulan. Proses penarikan kesimpulan dengan menggunakan logika fuzzy dinamakan inferensi fuzzy.

Sistem berbasis pengetahuan atau sistem berbasis aturan dimana basis pengetahuannya direpresentasikan sebagai sekumpulan aturan produksi yaitu aturan-aturan IF-THEN fuzzy dinamakan sistem fuzzy [6]. Aturan IF-THEN fuzzy adalah pernyataan IF-THEN dimana beberapa kata-kata dalam pernyataan tersebut ditentukan oleh fungsi keanggotaan. Aturan

Aturan 1 : IF x_1 is A_1^1 and x_2 is A_2^1 and ... and x_n is A_n^1 THEN y is B^1

Aturan 2 : IF x_1 is A_1^2 and x_2 is A_2^2 and ... and x_n is A_n^2 THEN y is B^2

...

Aturan M : IF x_1 is A_1^M and x_2 is A_2^M and ... and x_n is A_n^M THEN y is B^M

Fakta : x_1 is A_1' and x_2 is A_2' and ... and x_n is A_n'

Kesimpulan : y is B

Terdapat empat tahap dalam pembangunan sistem fuzzy, yaitu fuzzifikasi, inferensi, komposisi, dan defuzzifikasi (Gambar 7) [2].

produksi fuzzy adalah relasi fuzzy antara dua proposisi fuzzy. Aturan tersebut dinyatakan sebagai berikut :

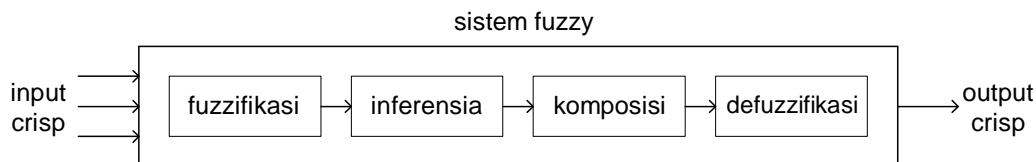
IF <proposisi fuzzy 1> THEN <proposisi fuzzy 2>

Bagian IF dari aturan yaitu proposisi 1 dinamakan antecedent atau premis, sedangkan bagian THEN dari aturan yaitu proposisi 2 dinamakan consequent atau kesimpulan. Proposisi fuzzy adalah proposisi yang memiliki derajat kebenaran yang dinyatakan oleh suatu bilangan dalam interval $[0, 1]$, dimana benar dinyatakan oleh nilai 1 dan salah dinyatakan oleh nilai 0 [3]. Premis dari aturan fuzzy dapat memiliki lebih dari satu bagian. Semua bagian dari premis dihitung secara simultan dan diselesaikan untuk sebuah nilai tunggal dengan menggunakan operator fuzzy dalam himpunan fuzzy.

Secara khusus, basis aturan fuzzy terdiri dari aturan-aturan IF-THEN fuzzy berikut :

$R_U^{(k)} = \text{IF } x_1 \text{ is } A_1^k \text{ and ... and } x_n \text{ is } A_n^k \text{ THEN } y \text{ is } B^k$ (1)

Dimana A_i^k dan B^k berturut-turut adalah himpunan fuzzy dalam $U_i \subset R$ dan $V \subset R$ (U dan V adalah domain fisik), $i = 1, 2, \dots, n$, dan $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in U$ dan $y \in V$ berturut-turut adalah variabel input dan output (linguistik) dari sistem fuzzy. Misalkan M adalah banyaknya aturan dalam basis aturan fuzzy, yaitu $k = 1, 2, \dots, M$ dalam persamaan (1). Skema umum penentuan kesimpulan dari M aturan dinyatakan dalam bentuk



Gambar 7. Empat tahap dalam pembangunan sistem fuzzy

Fuzzifikasi

Dalam fuzzifikasi, variabel input (crisp) dari sistem fuzzy ditransfer ke dalam himpunan fuzzy untuk dapat digunakan dalam perhitungan nilai

kebenaran dari premis pada setiap aturan dalam basis pengetahuan. Dengan demikian, tahap ini mengambil nilai-nilai crisp dan menentukan derajat dimana nilai-nilai tersebut menjadi anggota dari setiap himpunan fuzzy yang sesuai.

Setelah fungsi keanggotaan dari nilai-nilai crisp ditentukan, selanjutnya nilai kebenaran dari premis dihitung. Premis dari aturan dapat terdiri dari lebih dari satu proposisi yang dihubungkan dengan operasi seperti konjungsi (AND) dan disjungsi (OR). Untuk menghitung nilai kebenaran premis, operator fuzzy digunakan untuk memperoleh satu bilangan yang merepresentasikan hasil dari premis. Jika sebuah premis dari suatu aturan memiliki derajat kebenaran tidak nol maka aturan dikatakan terpicu (*fired*).

3.6 Inferensi

Inferensi diimplementasikan untuk masing-masing aturan dalam basis pengetahuan. Dalam inferensi, nilai kebenaran premis dari aturan-aturan yang terpicu digunakan untuk menentukan nilai kebenaran bagian kesimpulan dari aturan yang terpicu. Dengan demikian input untuk proses inferensi adalah nilai yang diberikan oleh premis, dan output adalah suatu himpunan fuzzy. Metode yang biasa digunakan dalam proses inferensi adalah *min* dan *product* [2]. Dalam metode inferensi min, fungsi keanggotaan output dipotong pada ketinggian fungsi yang disesuaikan dengan nilai kebenaran dari premis. Dalam metode inferensi product, fungsi keanggotaan output diberi skala sesuai dengan nilai kebenaran dari premis [2].

3.7 Komposisi

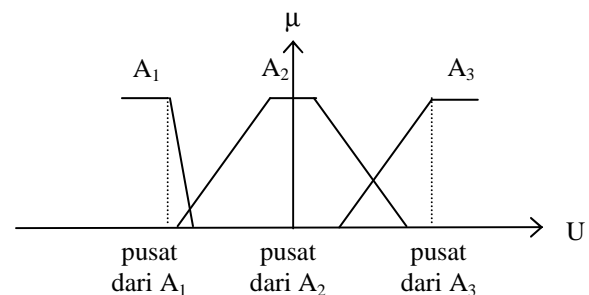
Komposisi adalah proses dimana himpunan fuzzy yang menyatakan output dari setiap aturan dikombinasikan bersama ke dalam sebuah himpunan fuzzy. Metode komposisi yang umum digunakan adalah *max* (*maximum*) dan *sum*. Dalam komposisi max, himpunan fuzzy untuk output ditentukan dengan mengambil titik maksimum dari semua himpunan fuzzy yang dihasilkan oleh proses inferensi untuk masing-masing aturan. Dalam komposisi sum, himpunan fuzzy untuk output ditentukan dengan mengambil penjumlahan titik dari semua himpunan fuzzy yang dihasilkan oleh proses inferensi untuk masing-masing aturan.

3.8 Defuzzifikasi

Input dari proses defuzzifikasi sebagai suatu pemetaan dari himpunan fuzzy B^k dalam $V \subset \mathbb{R}$ (yang merupakan output dari inferensi fuzzy) ke titik crisp $y^* \in V$ [6]. Terdapat tiga teknik yang paling umum digunakan yaitu *center of gravity* (*centroid*) *defuzzifier*, *center average defuzzifier*, dan *maximum defuzzifier*. Dalam *center of gravity*

(*centroid*) *defuzzifier*, nilai crisp dari variabel output dihitung dengan menemukan nilai variabel dari pusat gravitasi dari fungsi keanggotaan dari himpunan fuzzy. Dalam *maximum defuzzifier*, salah satu dari nilai-nilai variabel dimana subset fuzzy memiliki nilai kebenaran maksimum dipilih sebagai nilai crisp untuk variabel output. *Center average defuzzifier* adalah metode yang umum digunakan dalam sistem fuzzy dan kontrol fuzzy [6].

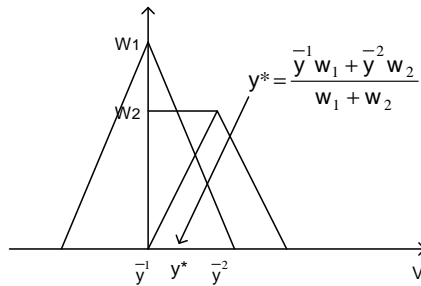
Metode *center average defuzzifier* menggunakan nilai pusat (*center*) dan tingginya (*height*) dari himpunan fuzzy dalam menentukan nilai crisp hasil. Pusat dari suatu himpunan fuzzy didefinisikan sebagai berikut : jika nilai titik tengah dari semua titik dimana fungsi keanggotaan dari himpunan fuzzy mencapai nilai maksimumnya adalah berhingga, maka definisikan nilai titik tengah tersebut sebagai pusat dari himpunan fuzzy; jika nilai titik tengah adalah bilangan positif (negatif) tak berhingga, maka pusat didefinisikan sebagai nilai terkecil (terbesar) di antara semua titik yang mencapai nilai keanggotaan maksimum [6]. Gambar 8 menunjukkan pusat dari beberapa himpunan fuzzy. Tinggi dari suatu himpunan fuzzy adalah nilai keanggotaan terbesar yang dicapai oleh suatu titik. Jika tinggi dari himpunan fuzzy adalah 1, maka himpunan fuzzy tersebut dikatakan himpunan fuzzy normal.



Gambar 8. Pusat dari himpunan fuzzy
Secara khusus, misalkan y^* adalah pusat dari himpunan fuzzy ke- k dan w_k adalah tingginya, *center average defuzzifier* menentukan y^* sebagai

$$y^* = \frac{\sum_{k=1}^M y^* w_k}{\sum_{k=1}^M w_k} \quad (2)$$

Gambar 9 mengilustrasikan operasi ini secara grafis untuk contoh yang sederhana dengan banyaknya aturan $M=2$,



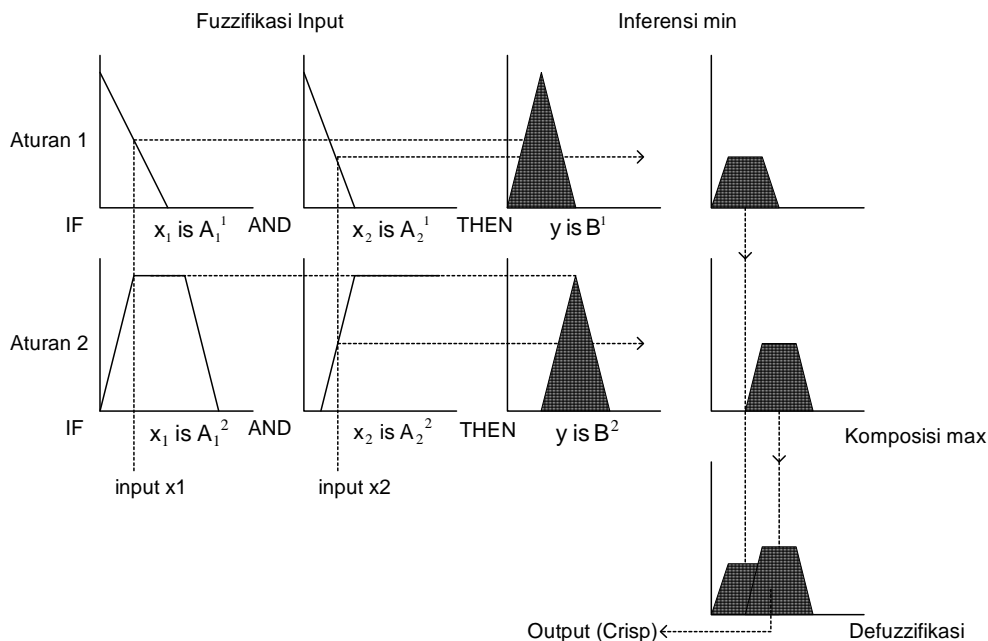
Gambar 9. Representasi grafis dari *center average defuzzier*

Variabel input dalam sistem fuzzy dinyatakan dalam nilai crisp. Sebagai gambaran, diberikan dua aturan IF-THEN fuzzy berikut :

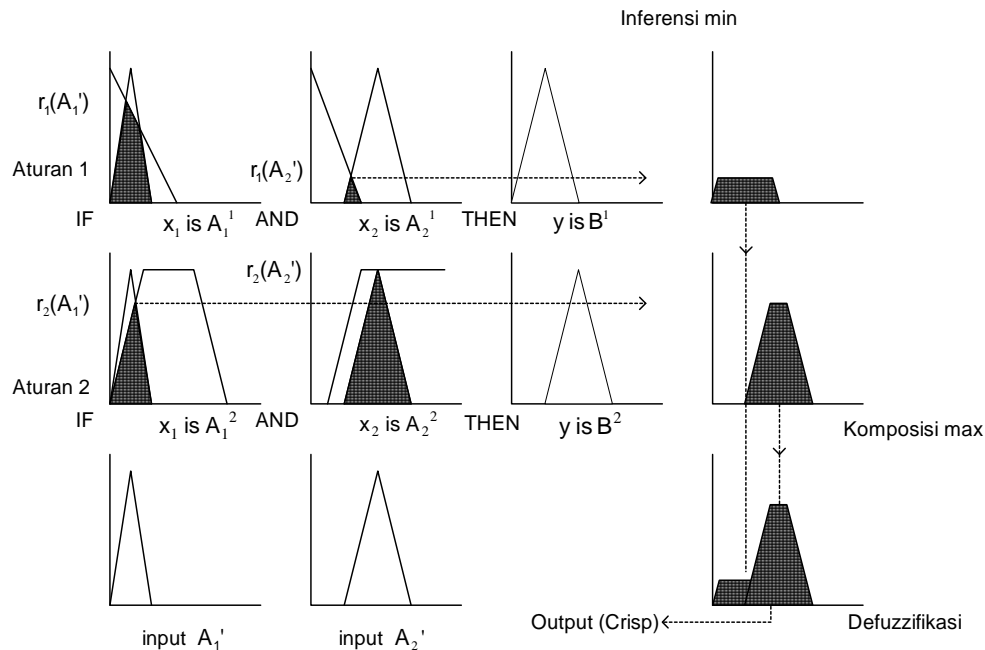
- Aturan 1 : IF x_1 is A_1^1 and x_2 is A_2^1 THEN y is B^1
 Aturan 2 : IF x_1 is A_1^2 and x_2 is A_2^2 THEN y is B^2

Sistem fuzzy akan menentukan himpunan fuzzy B' untuk input nilai crisp atau himpunan fuzzy A_1' dan A_2' yang diberikan. Untuk input nilai crisp, kesimpulan diperoleh melalui empat tahap yaitu fuzzifikasi, inferensi *min*, komposisi *max*, dan defuzzifikasi, seperti diilustrasikan dalam Gambar 10. Sedangkan untuk input himpunan fuzzy, kesimpulan diperoleh melalui tahap-tahap yaitu penentuan derajat konsistensi (*degree of consistency*) antara fakta yang diberikan dan bagian premis dari setiap aturan, inferensi *min*, komposisi *max*, dan defuzzifikasi, seperti diilustrasikan dalam Gambar 11. Derajat konsistensi antara fakta yang diberikan dan bagian premis dari setiap aturan, $r_k(A_i')$ untuk $k = 1, 2$; $i = 1, 2$, adalah tinggi perpotongan dari himpunan fuzzy A_i' dengan A_i^k (Klir & Bo, 1995).

$$r_k(A_i') = h(A_i' \cap A_i^k).$$



Gambar 10. Penentuan kesimpulan dalam sistem fuzzy dua aturan IF-THEN fuzzy untuk input nilai crisp.



Gambar 11. Penentuan kesimpulan dalam sistem fuzzy dua aturan
IF-THEN fuzzy untuk input himpunan fuzzy.

5. PENUTUP

Data-data yang tidak tepat dapat ditoleransi dengan menggunakan logika fuzzy. Oleh karena itu dalam pengembangan sistem pakar dapat digunakan logika fuzzy untuk menangani ketidakpastian yang terjadi. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami, oleh sebab itu logika fuzzy lebih dekat pada masalah-masalah yang dihadapi dalam kehidupan sehari-hari. Dalam pembangunan sistem fuzzy ada empat tahapan yang dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti metode fuzzifikasi, inferensi, komposisi dan defuzzifikasi. Metode-metode tersebut dapat diterapkan tergantung masalah yang dihadapi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Firebaugh M. W., 1989, *Artificial Intelligence. A Knowledge-Based Approach*, PWS-Kent Publishing Company, Boston.
- [2] Havinga H.N.J, van der Veer P., Brouwer, J. Cser., 1999, *Fuzzy Logic*, Technical Report. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Netherlands.

- [3] Klir, G. J & Y. Bo., 1995, *Fuzzy Set and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Prentice-Hall International, Inc, New Jersey.
- [4] Negoita, C. V., 1985, *Expert Systems and Fuzzy Systems*. The Benjamin/cummings Publishing Company, Inc. California.
- [5] Turban, Efraim, 1995, *Decision Support System and Expert System*, 4th ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, pp 472-679
- [6] Wang, L. 1997. *A Course in Fuzzy Systems and Control*. Prentice-Hall International, Inc., New Jersey.

Biografi

Wilis Kaswidjanti, dosen Jurusan Teknik Informatika UPN "Veteran" Yogyakarta
e-mail : wilis@if.upnyk.ac.id